

Vplyv priemeru výtokovej trysky hydrocyklónu na účinnosť rozdrúžovania energetického uhlia z bane Cígeľ

Slavomír Hredzák¹, Štefan Jakabský¹ & Michal Lovás¹

Influence of hydrocyclone underflow jet diameter on washing efficiency of steam coal from the Cígeľ Colliery

The contribution describes results of steam coal washing in water-only (WO) cyclone at various diameter of underflow jets. The overflow jet with the diameter of 68 mm was used. In the case of underflow the following jet were applied: 18 mm, 15.6 mm and 14.5 mm. Washing products were subjected to chemical, grain size and float-sink analyses. Mass yields of these products were also determined to compute the material balance of coal components. Conclusively, the partition curves have been constructed and cut points as well as errors probable and imperfections were determined. The Grumbrecht's efficiency of preparation was also computed.

Ash and total sulphur in dry matter were observed in washing products. The overflow product with the lowest content of ash i.e. 11.62 % was won at the underflow jet diameter of 18 mm, but also at the lowest yield and combustible matter recovery. The highest recovery of combustible matter was achieved at the diameter of 15.6 mm, however at the highest ash content.

The grain size analysis resided in the sieving of overflow and underflow products into following classes: -0.5 mm, 0.5-1 mm, 1-2 mm, 2-3 mm and +3 mm. On the basis of mass yields the partition curves were constructed with the aim to determine a classifying effect. Only in the case of jet ratio 68/18 it was possible to determine basic characteristics: $d_{50} = 2.2$ mm, $E_p = 1.74$. It has to be mentioned that the coarser grain went to overflow and finer concentrated in underflow in all three cases. Hence, it is reverse situation as at a classical classifying hydrocyclone.

The float-sink analyses were conducted at the following densities: 1.3, 1.4, 1.5, 1.7 and 1.8 gcm⁻³. According to obtained results, i.e. mass yields into density classes, the comparison of separation efficiency with regard to the grain size as well as to the ratio of overflow and underflow jets diameters has been also carried out.

The best sharpness of separation was achieved at the underflow jet diameter of 18 mm. Summary parameters are as follows: $E_p = 0.255$ and $W = 68.58$ %. The both values are almost twice higher as in the case of other jet diameters. Also in this case the errors probable for all grain sizes are the lowest and the Grumbrecht's efficiencies attain the highest values. As to grain size the best results were obtained for the class of 1-2 mm and 2-3 mm, respectively, at all tested diameters of underflow jet.

The reduction of underflow jet diameter results in a low enhancement of mass yield into overflow as well as in the increasing of ash content and combustible matter recovery in this product. The separation sharpness at smaller jets diameter was worse and the increasing of slurries creation at the mass yield of 40 % with the ash content over 70% can be observed.

Key words: WO-cyclone, steam coal, washing, partition curves.

Úvod

Výskum úpravy energetického uhlia z Hornonitrianskych baní Prievidza, a.s., na Ústave geotechniky SAV v Košiciach sa začal v roku 1997. V poslednom období bola zvláštna pozornosť venovaná aplikácii tzv. „water-only“ (WO) cyklónu, t.j. hydrocyklónu, pracujúcim bez zaťažkávadla.

Vybrané výsledky úpravy energetického uhlia vo WO cyklóne pri rôznom vstupnom tlaku a koncentrácii tuhej fázy uvádzajú Jakabský et al., (1997, 1998) a Hredzák et al., (1998, 1999). Pokusy úpravy uhlia preukázali, že v prípade uhlia z Bane Cígeľ je možné na prepade WO cyklónu získať produkt s obsahom popola pod 13 % pri hmotnostnom výnose 80 %. Podobne, v prípade úpravy handlovského uhlia sa získal produkt obsahom popola pod 16 % pri hmotnostnom výnose 75%. Nakoniec, upravené uhlie z Novák malo menej ako 15% popola pri hmotnostnom výnose 80%.

Vo všetkých troch prípadoch neboli do materiálovej bilancie zahrnuté kaly zrnitosti pod 0,25 mm, ktoré sú dispergované v uhoľnej suspenzii. Ich hmotnostný výnos môže dosiahnuť až 10-40 % pri obsahu popola 54-82 %.

V predložennom príspevku sa uvádza analýza procesu úpravy uhlia vo WO cyklóne, ktorý mal nasledovné parametre: priemer valcovej časti 150 mm, výška valcovej časti 200 mm, priemer vstupnej trysky 45 mm, priemer prepadovej trysky 68 mm. Pokusy sa uskutočnili pri výtokových tryskách nasledovných priemerov: 18 mm, 15,6 mm (ďalej uvádzané ako 15) a 14,5 mm (14). Kónická časť WO cyklónu pozostávala z troch sekcií, s uhlami 135°-75°-20°, postupne sa zmenšujúcimi smerom k výtoku. Vstupný tlak bol 10 kPa, koncentrácia tuhej fázy 100 g.l⁻¹. Pred úpravou vo WO cyklóne bolo uhlie podrobené na zrnitosť pod 5 mm. Keďže v každom hydrocyklóne sa prejavuje triediaci aj rozdrúžovací efekt, obidva tieto efekty boli podrobené analýze.

Materiálová bilancia a kvalita produktov rozdrúžovania

Materiálová bilancia a kvalita produktov rozdrúžovania pri rôznom pomere trysiek je uvedená v tabuľkách č. 1-3. Najnižší obsah a výťažnosť popola v upravenom uhli bol dosiahnutý pri pomere trysiek 68/18, avšak pri

¹Ing. Slavomír Hredzák, Ing. Štefan Jakabský, PhD. & RNDr. Michal Lovás, PhD., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice. (Recenzované v roku 2000)

najnižšom výnose do prepadu. Výťažnosť horľaviny do prepadu je vyššia pri pomeroch trysiek 68/15 a 68/14. Pri týchto pomeroch je vyššia aj výťažnosť popola do kalového produktu. Závislosť hmotnostného výnosu do prepadu od priemeru výtokovej trysky bude názornejšia, ak do materiálovej bilancie nebude zahrnutý kal, tak ako je to uvedené v tabuľke č. 4.

Tab.1. Pomer trysiek 68/18. Tab.1. Jet ratio 68/18.

produkt WO-cyklónu	hmotnostný výnos [%]	obsah [%]			výťažnosť [%]		
		popol	síra	horľavina	popol	síra	horľavina
prepad	31,66	11,62	1,54	88,38	8,35	37,20	50,01
výtok	37,63	49,56	1,51	50,44	42,34	43,35	33,92
kal	30,71	70,73	0,83	29,27	49,31	19,45	16,07
podanie	100,00	44,05	1,31	55,95	100,00	100,00	100,00

Tab.2. Pomer trysiek 68/15. Tab.2. Jet ratio 68/15.

produkt WO-cyklónu	hmotnostný výnos [%]	obsah [%]			výťažnosť [%]		
		popol	síra	horľavina	popol	síra	horľavina
prepad	36,11	18,76	1,77	81,24	14,53	46,09	54,97
výtok	27,08	45,62	1,70	54,38	26,49	33,20	27,59
kal	36,81	74,71	0,78	25,29	58,98	20,71	17,44
podanie	100,00	46,63	1,39	53,37	100,00	100,00	100,00

Tab.3. Pomer trysiek 68/14. Tab.3. Jet ratio 68/14.

produkt WO-cyklónu	hmotnostný výnos [%]	obsah [%]			výťažnosť [%]		
		popol	síra	horľavina	popol	síra	horľavina
prepad	35,55	16,53	1,46	83,47	12,99	45,74	54,18
výtok	23,98	42,24	1,42	57,76	22,40	30,01	25,29
kal	40,47	72,21	0,68	27,79	64,61	24,25	20,53
podanie	100,00	45,23	1,13	54,77	100,00	100,00	100,00

Tvorba kalových častíc závisí od priemeru trysiek, ako aj od času cirkulácie vsádzky v hydrocyklónovej stanici, kedy sa prejavuje pôsobenie strihových síl. Z tabuľky č. 4 je zrejmé, že so zmenšujúcim sa priemerom výtokovej trysky rastie výnos do prepadu.

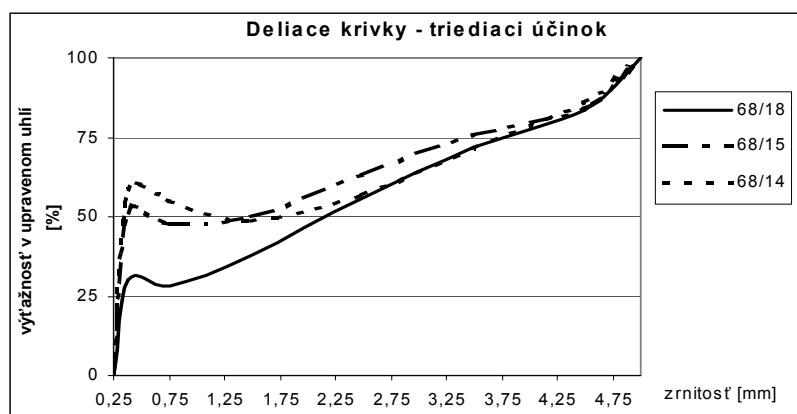
Tab.4. Materiálová bilancia bez kalov. Tab.4. Material balance excluding slurries.

pomer trysiek	68/18	68/15	68/14
produkty			
prepad	45,69	57,15	59,72
výtok	54,31	42,85	40,28
Σ	100,00	100,00	100,00

Triediaci efekt vo WO cyklóne

Produkty úpravy uhlia získané na prepade a výtoku WO cyklónu boli podrobené zrnitostnej analýze. Na základe hmotnostných výnosov do jednotlivých tried sa zostrojili deliace krivky upraveného uhlia, ktoré sú uvedené na obr. č. 1.

Základné parametre ostrosti triedenia sa dali určiť iba v prípade pomeru trysiek 68/18: $d_{50} = 2,2$ mm a $E_p = 1,74$. To znamená, že zrná s priemerom väčším ako 2,2 mm putujú prevažne do prepadu, menšie zrná sú strhávané do výtoku hydrocyklónu. Ostrosť triedenia je nízka, pretože pravdepodobná odchýlka E_p je vysoká. Pri pomeroch trysiek 68/15 a 68/14 nemohli byť hodnoty d_{50} a E_p určené, lebo deliace krivky pretínajú líniu d_{50} viackrát. Predsa však z ich priebehu možno vyčítať, že pri pomere 68/15 do prepadu prednostne putujú zrná väčšie ako 1,5 mm, resp. 1,85 mm pri pomere 68/14. Celkovo možno konštatovať, že počas rozdrúžovania sa hrubšie zrná koncentrujú do prepadu a jemnejšie sú strhávané do výtoku, čo je opačné ako pri triediacom hydrocyklóne.



Obr. č.1. Deliace krivky – triediaci účinok.
Fig.1. Partition curves – classifying effect.

Analýza účinnosti rozdrúžovania

Produkty úpravy, získané na prepade a výtoku WO cyklónu, boli roztriedené na triedy: $-0,5$ mm, $0,5-1,0$ mm, $1-2$ mm, $2-3$ mm and $+3$ mm. Jednotlivé triedy sa podrobili rozplavovacím analýzám v roztoku $ZnCl_2$ pri týchto deliacich hustotách: 1,3; 1,4; 1,5; 1,7 a $1,8 \text{ g.cm}^{-3}$. Na základe hmotnostných výnosov do hustotných frakcií boli zostrojené deliace krivky, z ktorých sa odčítali hodnoty d_{50} , d_{75} a d_{25} . Následne sa vypočítala pravdepodobná odchýlka E_p podľa vzťahu: $E_p = (d_{75} - d_{25})/2$ a imperfekcia podľa rovnice: $I = E_p/(d_{50} - 1)$. Nakoniec bola stanovená účinnosť rozdrúžovania podľa Grumbrechta metódou stredného relatívneho chybného výnosu, podľa postupu uvedeného in Kozák, J. a Cagaš, Z., 1965. Výsledky sú zhrnuté v tabuľkách č. 5 – 6.

Tab.5. Základné charakteristiky rozdrúžovania. Tab.5. Basic characteristics of washing.

pomer trysk.	+3 mm				2-3 mm				1-2 mm			
	d_{50}	E_p	I	W	d_{50}	E_p	I	W	d_{50}	E_p	I	W
68/18	1,60	0,275	0,458	73,06	1,52	0,280	0,538	77,74	1,36	0,070	0,194	82,74
68/15	1,83	0,430	0,518	42,52	1,74	0,410	0,554	47,60	1,47	0,350	0,745	54,06
68/14	1,67	0,458	0,684	41,72	1,62	0,385	0,621	61,58	1,39	0,080	0,205	59,34

Tab.6. Základné charakteristiky rozdrúžovania. Tab.6. Basic characteristics of washing.

pomer trysiek	0,5 – 1 mm			- 0,5 mm		
	d_{50}	E_p	W	d_{50}	E_p	W
68/18	1,30	-	68,74	1,52	-	62,32
68/15	1,61	-	49,14	1,63	-	31,92
68/14	1,63	-	39,38	2,05	-	30,56

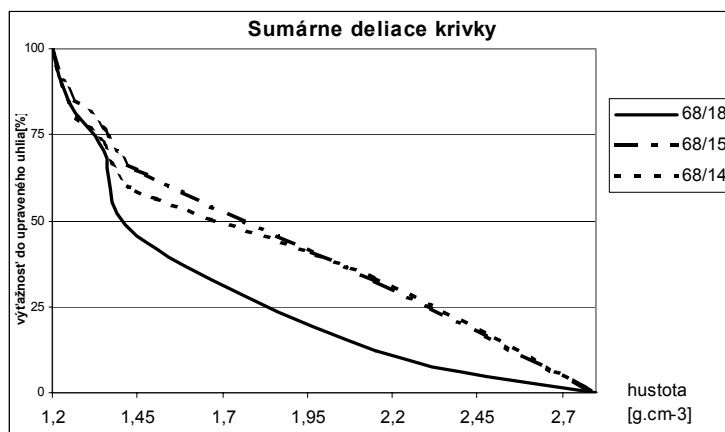
Najvyššie účinnosti rozdrúžovania sa dosiahli pri pomere trysiek 68/18. V závislosti od veľkosti zrna platí, že najvyššia účinnosť je pre triedy $1-2$ mm, resp. aj $2-3$ mm. Pri týchto triedach bola stanovená najnižšia hodnota pravdepodobnej odchýlky a deliaceho rezu. Pre triedy $-0,5$ mm a $0,5-1$ mm sa nedala určiť pravdepodobná odchýlka a následne imperfekcia, pretože deliace krivky viackrát pretínali líniu d_{75} alebo d_{25} .

Sumárne deliace krivky sú znázornené na obr. č. 2. Z nich odčítané základné charakteristiky rozdrúžovania uvádza tabuľka č. 7.

Tab.7. Sumárne základné charakteristiky rozdrúžovania. Tab.7. Summary basic characteristics of washing.

pomer trysiek	d_{75} [mm]	d_{50} [mm]	d_{25} [mm]	E_p	I	W [%]
68/18	1,32	1,40	1,83	0,255	0,638	68,58
68/15	1,36	1,77	2,30	0,470	0,610	38,48
68/14	1,33	1,68	2,33	0,500	0,735	34,98

Z tabuľkových údajov je zrejmé, že so znižujúcim sa priemerom výtokovej trysky rastie hodnota pravdepodobnej odchýlky, teda ostrosť rozdrúžovania klesá. Tento fakt potvrdzujú aj hodnoty Grumbrechtovej účinnosti, ktorá je pri 18 milimetrovej výtokovej tryske takmer dvakrát vyššia ako pri ostatných.



Obr. 2. Sumárne deliace krivky.

Fig. 2. Summary partition curves.

Záver

V predloženom príspevku sa analyzuje triediaci a rozdrúžovací efekt WO-cyklónu pri zmenách priemeru výtokovej trysky. Spomenuté efekty sa pozorovali pri úprave energetického uhlia z Bane Cígeľ. Boli stanovené základné charakteristiky, a to deliaca veľkosť zrna, deliaca hustota, pravdepodobná odchýlka, imperfekcia a účinnosť podľa Grumbrechta, ktoré vypovedajú o kvalite úpravnickeho procesu.

Najlepšia ostrosť rozdrúžovania sa dosiahla pri výtokovej tryske s priemerom 18 mm na celej zrnitostnej škále. Pri tomto priemere trysky bol na prepade získaný produkt s najmenším obsahom a výťažnosťou popola, avšak aj pri najnižšom výnose.

S ohľadom na veľkosť zrna, najnižšia hodnota pravdepodobnej odchýlky bola stanovená pre triedu 1–2 mm pri všetkých troch priemeroch výtokovej trysky. Pomerne dobré výsledky sa dosiahli aj pre veľkosť zrna 2–3 mm. Pri jemnejšom zrne, t.j. –1 mm, ako aj pri hrubšom zrne +3 mm sa charakteristiky zhoršujú, zvlášť prudko pri výtokových tryskách s priemerom 15 a 14 mm.

Pri aplikácii týchto menších trysiek možno pozorovať aj zvýšenú tvorbu kalových podielov, ktorých výnos dosahuje až 40%, pri obsahu popola nad 70%. Celkove možno výsledky zhrnúť nasledovne:

- najlepšie charakteristiky rozdrúžovania boli stanovené pri výtokovej tryske s priemerom 18 mm,
- zmenšenie priemeru výtokovej trysky má za následok zvýšenie výnosu do prepadu, pri zvýšení obsahu a výťažnosti popola v tomto produkte, ako aj pri miernom zvýšení výťažnosti horľaviny,
- pri zmenšení priemeru výtokovej trysky klesá ostrosť rozdrúžovania.

Literatúra

- HREDZÁK, S., JAKABSKÝ, Š., LOVÁS, M. & MOCKOVČIAKOVÁ, A. 1998. Preparation of Steam Coal from Cígeľ and Handlová Localities in Hydrocyclones. In: *Proc. of the 4th Conference on Environment and Mineral Processing*, (eds. Fečko, Bulawa, Holík) VŠB-TU Ostrava 1998, Part II., p. 477 – 482.
- HREDZÁK, S., JAKABSKÝ, Š., LOVÁS, M. & MOCKOVČIAKOVÁ, A. 1999. Characteristic of Water-Only Cyclone Operation at Preparation of Slovak Steam Coal. In: *Proc. of the conf. „New Trends in Mineral Processing III.*, VŠB-TU Ostrava 1999 (ed. P. Fečko), p. 95 – 101.
- JAKABSKÝ, Š., HREDZÁK, S. & LOVÁS, M. 1997. Komplexné využitie slovenského hnedého uhlia a ekologicky čistých technológií v energetike. *ČÚ 01 k VTP č. 95-513-III-07 „Zvýšenie ekonomickej efektívnosti energetických premien“ E 1.3. časť A. Výročná správa ÚGt SAV Košice 1997*, 62 s.
- JAKABSKÝ, Š., LOVÁS, M., HREDZÁK, S. & TURČANIOVÁ, E. 1998. Application of "Water-Only" Cyclone in Slovak Steam Coal Preparation". In: *Proceedings of the Fifteenth Annual International Pittsburgh Coal Conference* (CD, recorded in USA), 1998.
- KOZÁK, J. & CAGAŠ, Z. 1965. Hodnocení upravitelnosti a způsobů úpravy nerostných surovin. *SNTL/SVTL, Praha, 1965*, 296 s.